

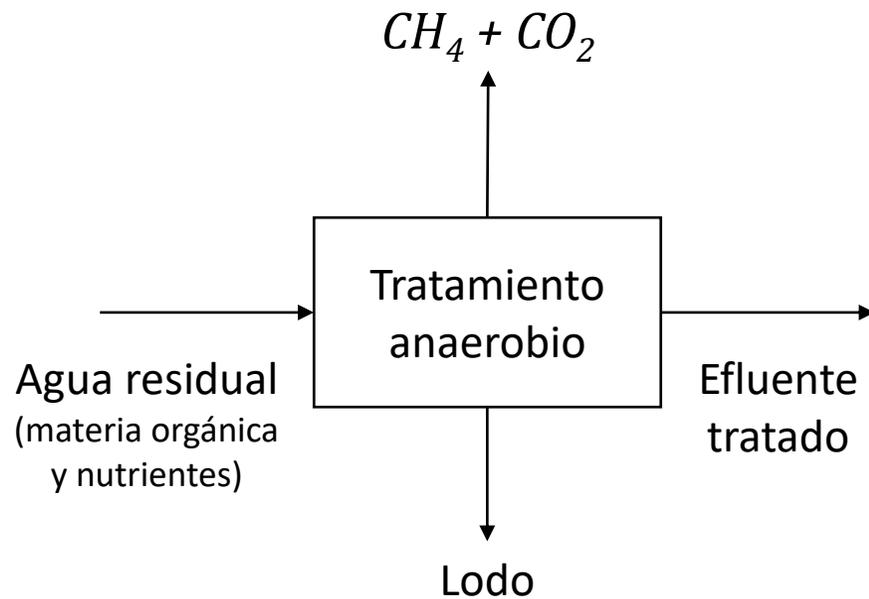
# POS-TRATAMIENTO DE EFLUENTES ANAEROBIOS

Curso “Diseño y Operación de Sistemas Anaerobios”

Elena Castelló

[elenacas@fing.edu.uy](mailto:elenacas@fing.edu.uy)

# POSTRATAMIENTO DE EFLUENTES ANAEROBIOS



¿Disposición a curso de agua?

¿Disposición a colector ?

¿Disposición a terreno?

¿Necesidad de pos-tratamiento?

# NORMATIVA



Cuenca Hidrográfica del  
*Río Santa Lucía*

Plan de acción para la protección de la calidad ambiental y  
la disponibilidad de las fuentes de agua potable

Mayo de 2013

# NORMATIVA

**RM 966/2013** (tomado de <http://mvotma.gub.uy/ciudadanía/item/10004802-rm-966-2013.html>)

Desagües a colector del alcantarillado público

- DBO5	Máx 350 mg/L
-FÓSFORO TOTAL	Máx 10 mg/L de P
-NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	Máx 50 mg/L de N

Desagües directos a curso de agua

-DBO5	Máx 60 mg/L
-FÓSFORO TOTAL	Máx 5 mg/L
-NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	Máx 10 mg/L en N
-NITRÓGENO AMONIAICAL	Máx 5 mg/L en N
-NITRATO+NITRITO	Máx 20 mg/L

# ALTERNATIVAS DE REMOCIÓN

## NITRÓGENO

- Remoción Biológica
  - Nitrificación – Desnitrificación convencional
  - Remoción vía Nitrito - Anammox

## FÓSFORO

- Remoción Biológica
- Remoción Físicoquímica

# NITRÓGENO EN AGUAS RESIDUALES



**BIOTECNOLOGÍA  
DE PROCESOS  
PARA EL AMBIENTE**  
INSTITUTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
MONTEVIDEO - URUGUAY

# NITRÓGENO EN AGUAS RESIDUALES



# DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS



# REMOCIÓN DE NITRÓGENO

En las aguas residuales el nitrógeno en general se encuentra en la forma amoniacal.

## Alternativas de separación

Separación como sólido

Separación como gas

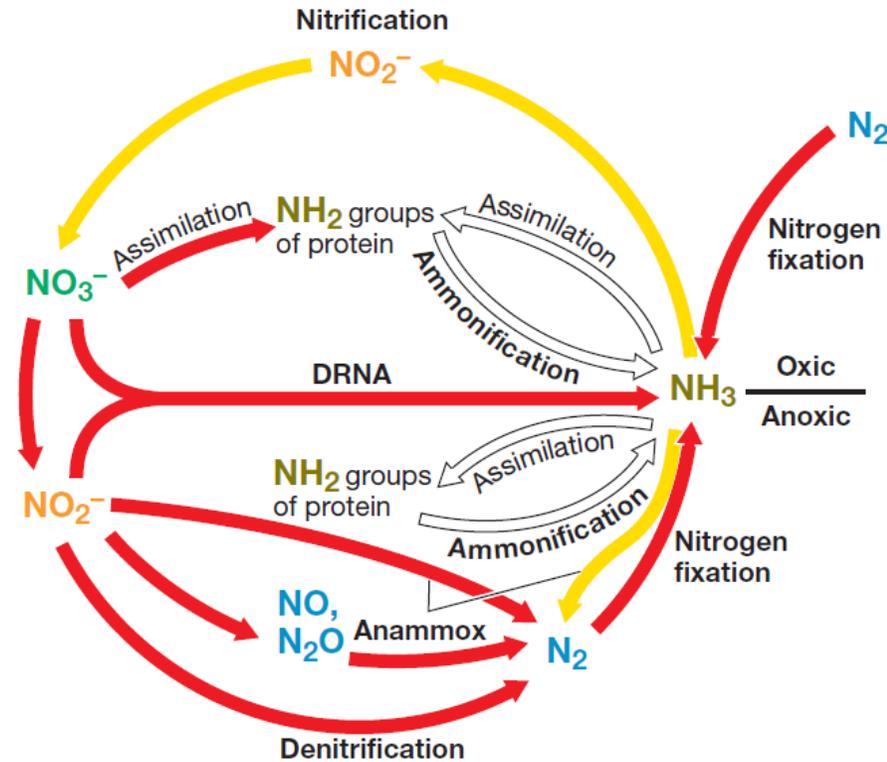
## Métodos

Fisicoquímicos

Biológicos

Única opción ambiental y económicamente viable en la actualidad

# TRANSFORMACIONES DE NITRÓGENO MEDIADAS POR MICROORGANISMOS



Tomado de Brock (2013) *Biology of Microorganisms*

# REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO-MÉTODO TRADICIONAL



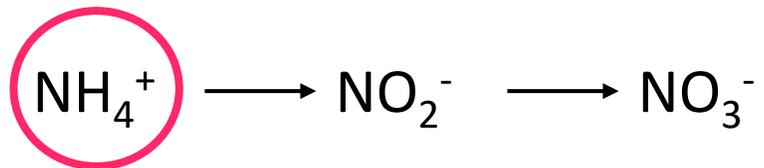
**BIOTECNOLOGÍA  
DE PROCESOS  
PARA EL AMBIENTE**

INSTITUTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
MONTEVIDEO - URUGUAY

# REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO

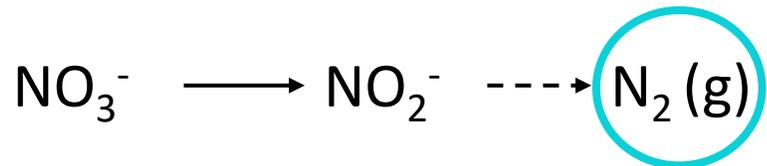
## Nitrificación

El amonio es oxidado a nitrato en dos etapas



## Desnitrificación

El nitrato es reducido a nitrógeno gas



**Nitrógeno amoniacal**  
(en el agua residual)



**N<sub>2</sub> (g)**  
(liberado a la  
atmósfera)

# MICROBIOLOGÍA DE LA NITRIFICACIÓN



Cada uno de los pasos es catalizado por diferentes bacterias:

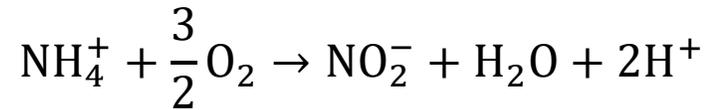
**Bacterias oxidadoras de amonio (AOB)** *Nitrosomonas*, *Nitrosospira* y *Nitrosococcus*, entre los géneros principales.

**Bacterias oxidadoras de nitrito (NOB)** *Nitrobacter*, *Nitrococcus* y *Nitrospira* entre los géneros principales.

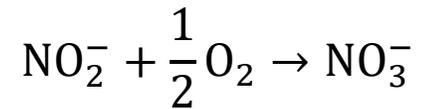
En ambos casos se trata de **bacterias aerobias quimioautótrofas.**

# ESTEQUIOMETRÍA DE LA NITRIFICACIÓN

Considerando únicamente las reacciones anabólicas, para cada una de las etapas.



Catalizada por bacterias amonio oxidantes (AOB)



Catalizada por bacterias nitrito oxidantes (NOB)



**Nitrificación completa**

# ESTEQUIOMETRÍA DE LA NITRIFICACIÓN

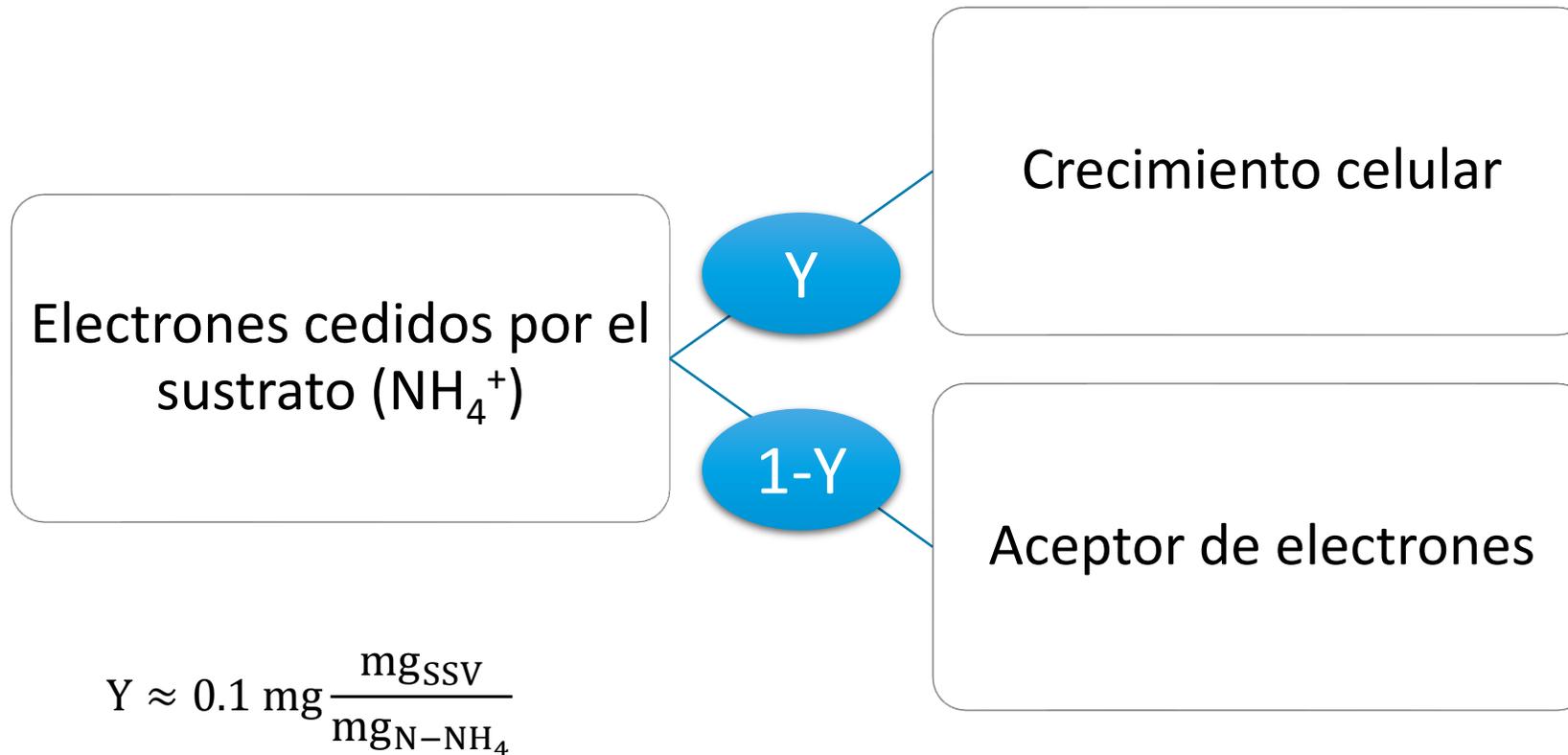
## Consumo de oxígeno

$$2 \frac{\text{mol O}_2}{\text{mol NO}_3^-} \equiv 4.57 \frac{\text{mg O}_2}{\text{mg N} - \text{NO}_3^-} \equiv 4.57 \frac{\text{mg O}_2}{\text{mg N} - \text{NH}_4^+}$$

## Consumo de alcalinidad

Se producen  $2 \frac{\text{mol H}^+}{\text{mol NH}_4^+}$ , entonces se requieren  $7.14 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{mg N} - \text{NH}_4^+}$

# ESTEQUIOMETRÍA DE LA NITRIFICACIÓN



# CINÉTICA DE LA NITRIFICACIÓN

Proceso secuencial



El paso más lento es el paso limitante

**Velocidad de reacción global  $\approx$  Velocidad del paso limitante**

# FACTORES QUE AFECTAN LA CINÉTICA DE NITRIFICACIÓN

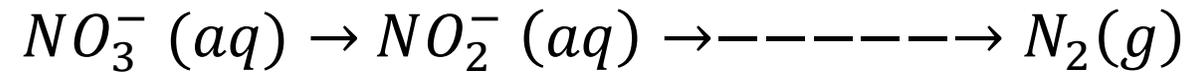
Temperatura

pH

Oxígeno disuelto

Materia orgánica

# DESNITRIFICACIÓN



Proceso catalizado por **bacterias heterótrofas facultativas** que obtienen la **energía** de la **materia orgánica** y utilizan como **aceptor final de electrones** el **oxígeno**, el **nitrito** o el **nitrito**.

# ESTEQUIOMETRÍA DE LA DESNITRIFICACIÓN

Tomando el valor del coeficiente de rendimiento recomendado en bibliografía, queda la siguiente ecuación estequiométrica global:

$$Y_{utilizado} = 0,4 \frac{mg \text{ biomasa}}{mg \text{ DQO}}$$

$$\text{Producción de alcalinidad} = 0,47 \frac{\text{mol HCO}_3}{\text{mol NO}_3} = 1,7 \frac{\text{mgCaCO}_3}{\text{mgN} - \text{NO}_3}$$

# REQUERIMIENTOS DE LA DESNITRIFICACIÓN

Presencia de Óxidos de Nitrógeno

Presencia de biomasa facultativa heterótrofa

Presencia de un dador de electrones

$$\frac{DQO_{REQ}}{gN - NO_3} = \frac{2.86}{1 - Y}$$

Para efluentes complejos depende del efluente

# REMOCIÓN DE NITRÓGENO – NO TRADICIONAL



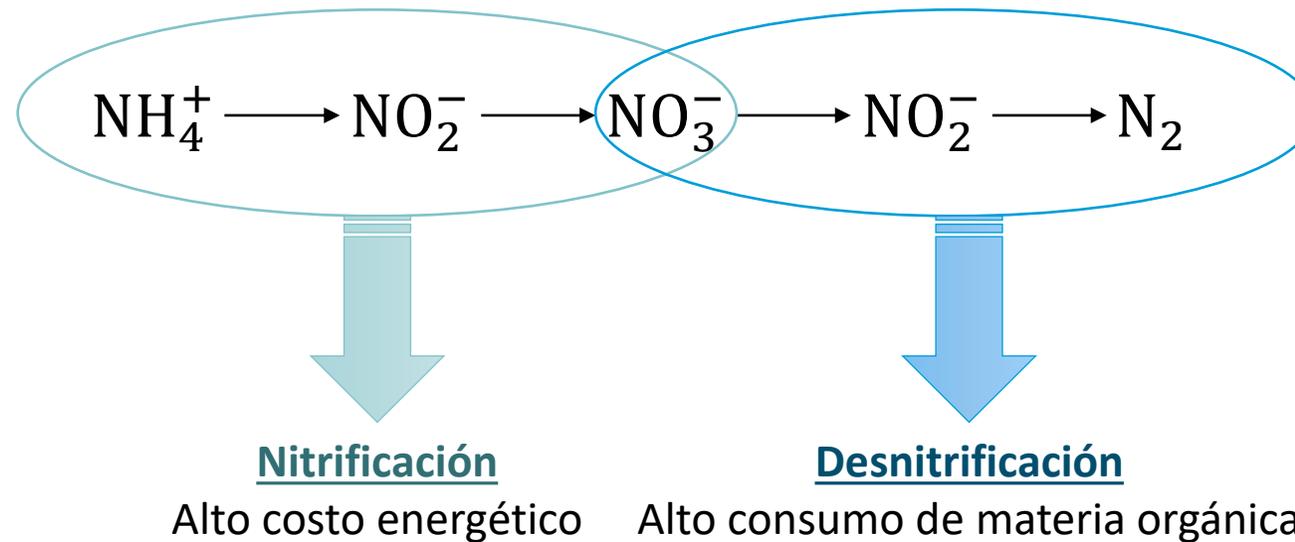
**BIOTECNOLOGÍA  
DE PROCESOS  
PARA EL AMBIENTE**

INSTITUTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
MONTEVIDEO - URUGUAY

# REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO

## Sistema convencional

Sistema ampliamente utilizado para la remoción de N por lo que se cuenta con mucha experiencia en su operación y con el cual se obtienen altas eficiencias de remoción.



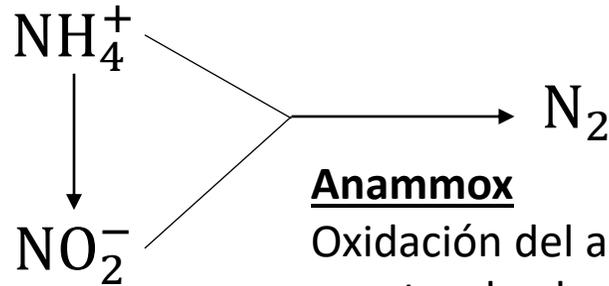
# REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO

## Sistemas innovadores

**OBJETIVO:** Reducir consumo energético y de materia orgánica.

### Nitrificación parcial

Oxidación del 50% del amonio a nitrito



### Anammox

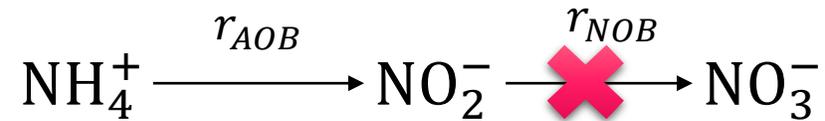
Oxidación del amonio utilizando al nitrito como aceptor de electrones

### Nitrificación Parcial-Anammox

Ahorro de aproximadamente 40% en el consumo de  $\text{O}_2$

Sin requerimiento de materia orgánica requerida

# NITRIFICACIÓN PARCIAL



Se debe evitar la formación de nitrato sin afectar la formación de nitrito

En condiciones habituales de operación:  $r_{AOB} \ll r_{NOB}$

Debemos encontrar la condiciones para que:  $r_{AOB} > r_{NOB}$

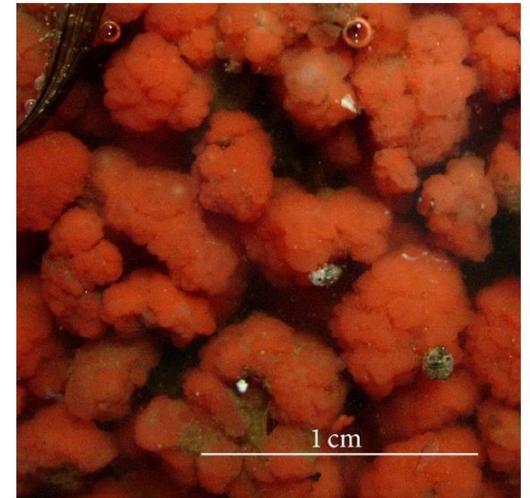
¿Qué factores influyen en la cinética de nitrificación?

Temperatura  
Oxígeno disuelto  
pH

# ANAMMOX



Bacterias anaerobias estrictas que oxidan el amonio utilizando nitrito como aceptor de electrones y formando nitrógeno gas y nitrato (11%).



# FÓSFORO EN AGUAS RESIDUALES



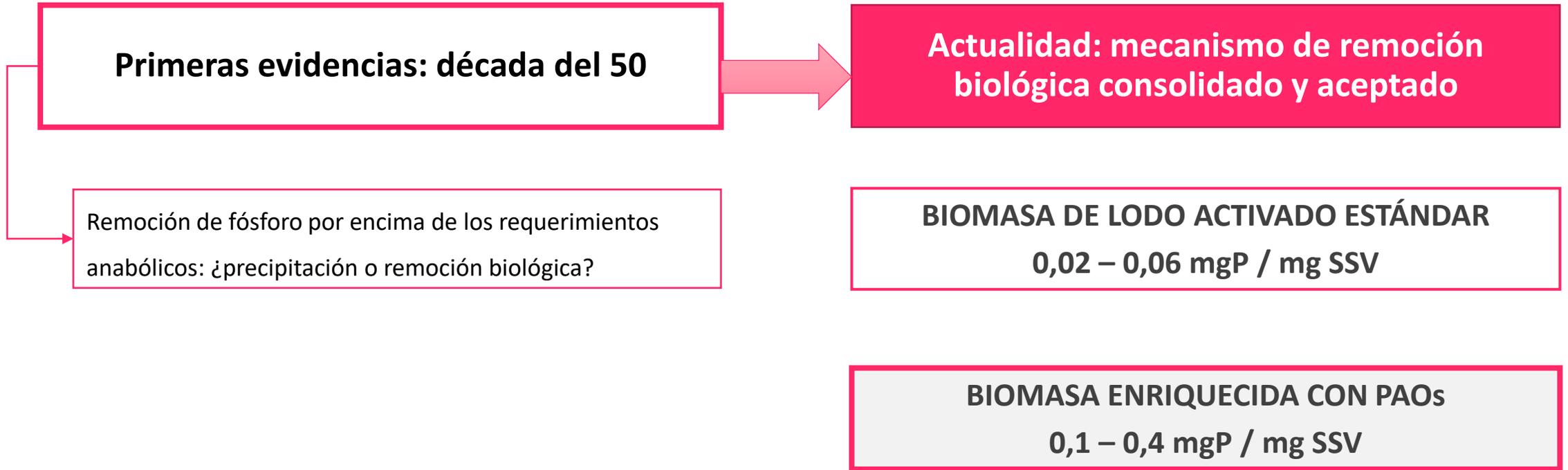
**BIOTECNOLOGÍA  
DE PROCESOS  
PARA EL AMBIENTE**  
INSTITUTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
MONTEVIDEO - URUGUAY

# REMOCIÓN DE FÓSFORO

REMOCIÓN  
FISICOQUÍMICA

REMOCIÓN BIOLÓGICA

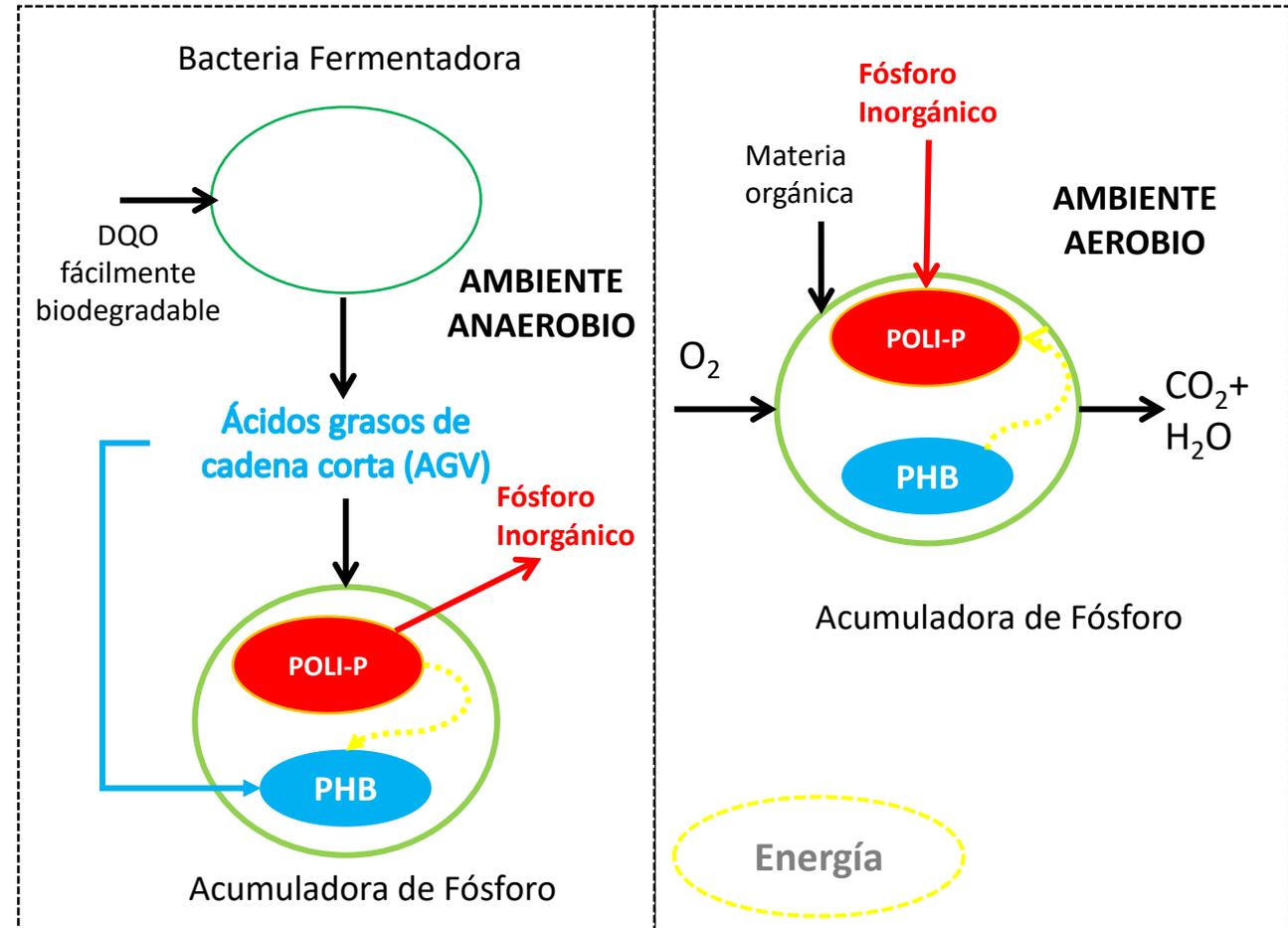
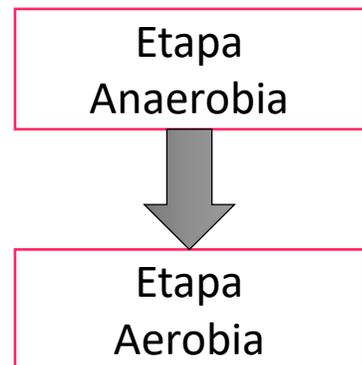
# REMOCIÓN BIOLÓGICA DE FÓSFORO



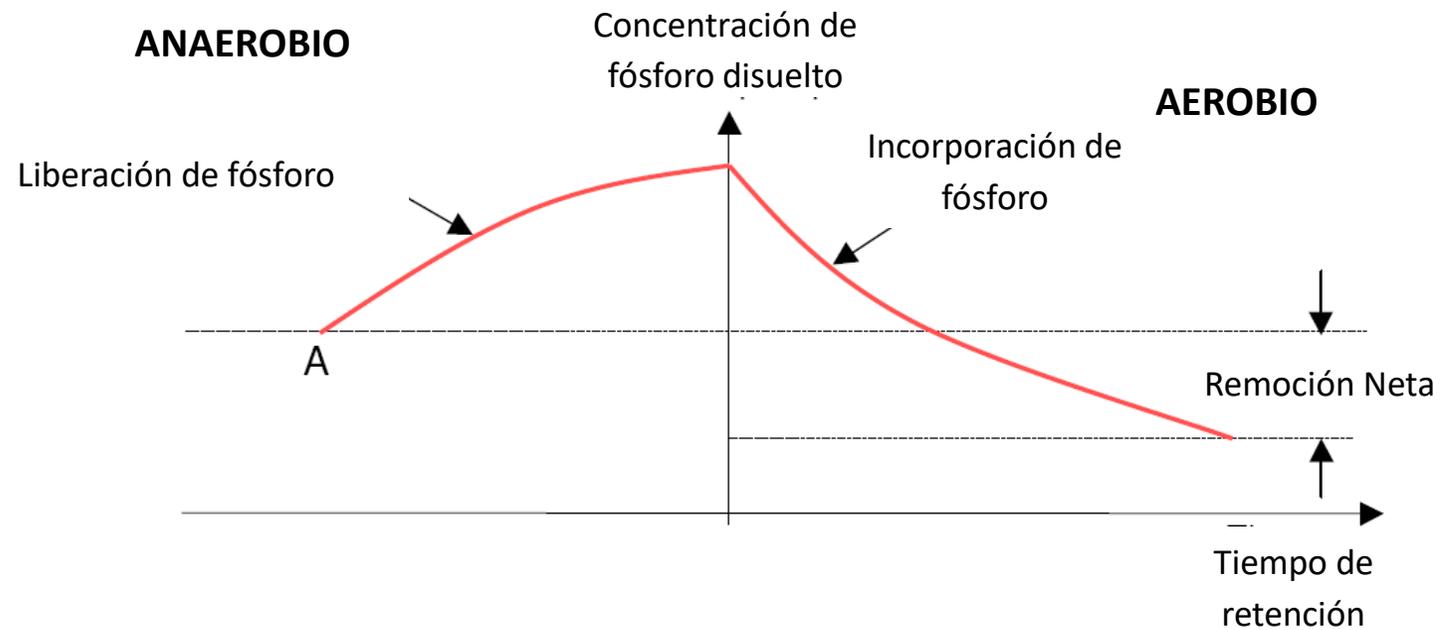
# ORGANISMOS ACUMULADORES DE FÓSFORO

## ENRIQUECIMIENTO DEL LODO EN PAOs

- 2 condiciones
  - Ambiente anaerobio seguido de ambiente aerobio
  - Presencia de ácidos grasos volátiles en la etapa anaerobia



# REMOCIÓN BIOLÓGICA DE FÓSFORO



# REMOCIÓN FISICOQUÍMICA DE FÓSFORO

Se debe determinar

- Sal a utilizar

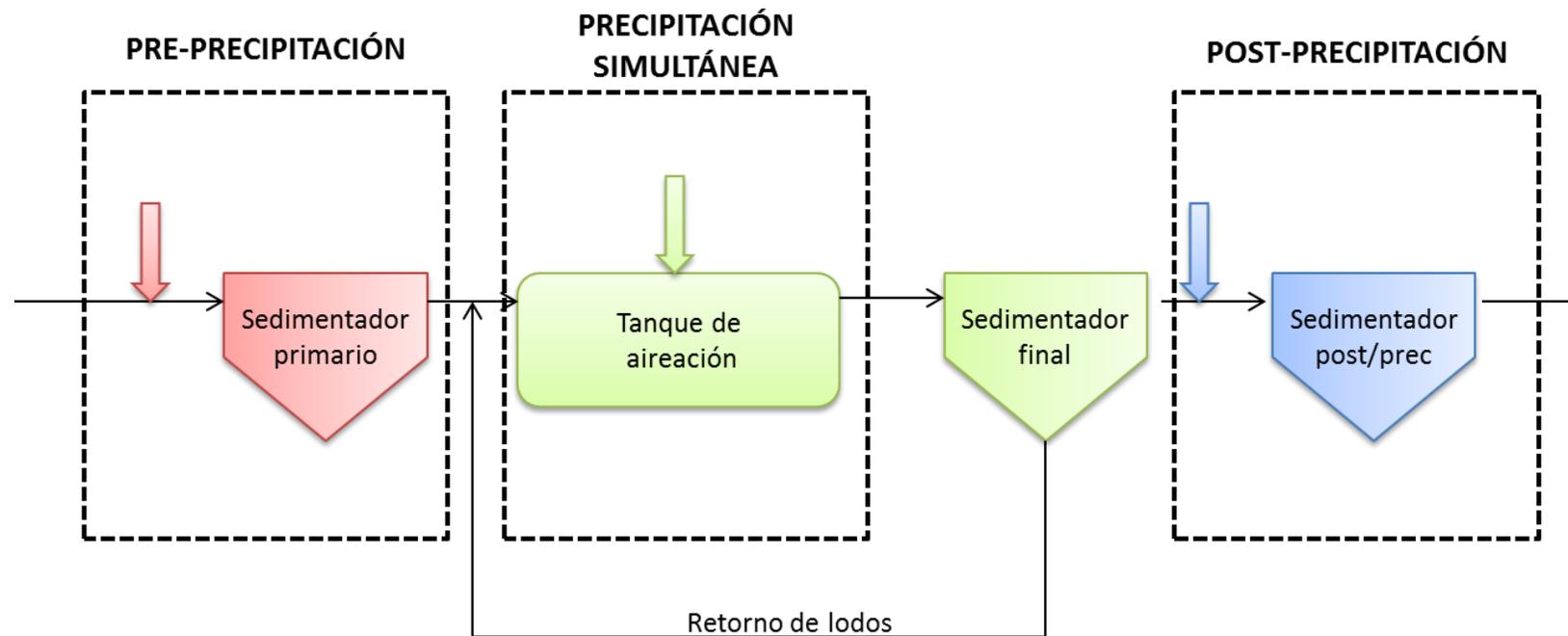
Sales trivalentes de Fe, Al

- Cantidad a utilizar
- Velocidad y tiempo de mezclado
- Sedimentación (tiempo y características del lodo)

Ensayo de Jarra

- Puntos de aplicación

# PUNTOS DE APLICACIÓN



# REMOCIÓN BIOLÓGICA vs FISICOQUÍMICA

## VENTAJAS BIOLÓGICA FRENTE A FISICOQUÍMICA

- Menor generación de lodo
- Lodo sin metales pesados
- Menores costos de inversión
- Menor contenido salino en el efluente

## DESVENTAJAS BIOLÓGICA FRENTE A FISICOQUÍMICA

- Dificultad para regular el proceso
- Límites de descarga variables
- Problemas de flotación de lodos (?)

# SISTEMAS DE REMOCIÓN



**BIOTECNOLOGÍA  
DE PROCESOS  
PARA EL AMBIENTE**

INSTITUTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
MONTEVIDEO - URUGUAY

# SISTEMAS DE REMOCIÓN DE N, P, MO



## Efluente de Frigorífico

DQO (mg/L) 3000-4000 mg/L

Fósforo total (mgP/L) 30-40 mgP/L

NTK (mgN/L) 200 mgN/L

NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub> (mgN/L) ≈0



-DBO5 Máx 60 mg/L

-FÓSFORO TOTAL Máx 5 mg/L en P

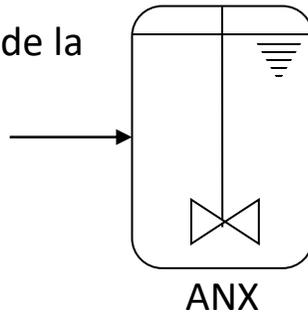
-NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL Máx 10 mg/L en N

-NITRÓGENO AMONIACAL Máx 5 mg/L en N

-NITRATO+NITRITO Máx 20 mg/L en N

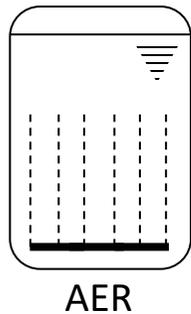
# SISTEMAS DE REMOCIÓN DE N

Requerimientos de la desnitrificación



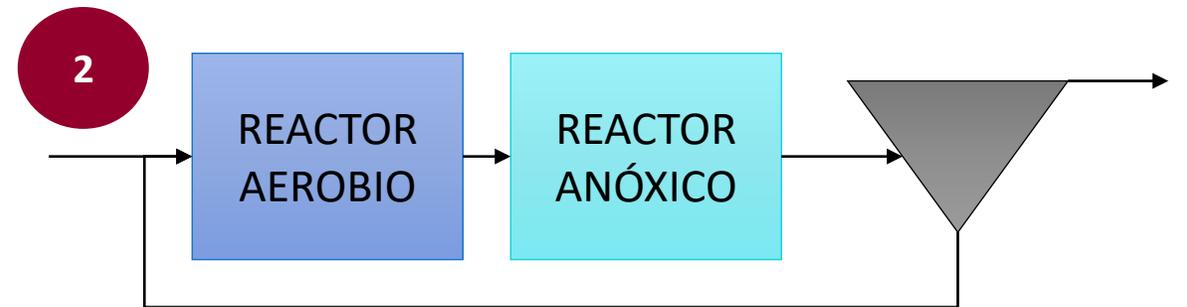
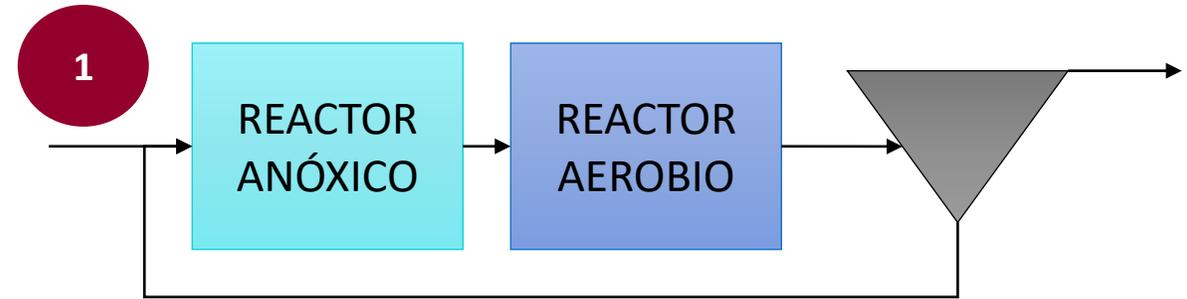
1. Bacterias desnitrificantes
2. Ambiente anóxico
3. Presencia de óxidos de nitrógeno
4. Cantidad suficiente de materia orgánica

Requerimientos de la nitrificación



1. Bacterias nitrificantes
2. Ambiente aerobio

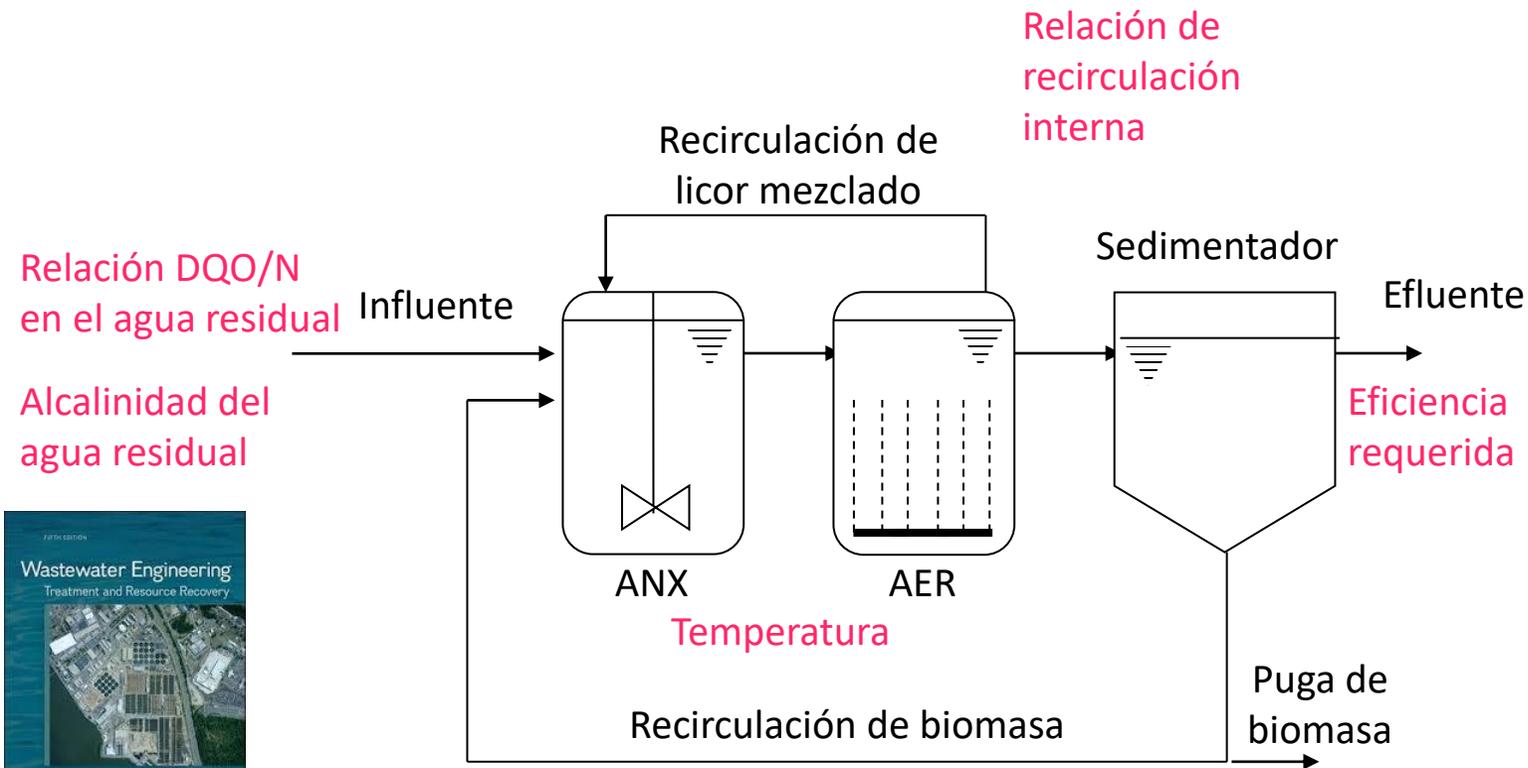
Influente: Materia orgánica + Nitrógeno amoniacal + Fósforo



# SISTEMAS DE REMOCIÓN DE N

## Proceso Ludzak – Etinger Modificado (MLE)

### Parámetros a considerar



### Ventajas

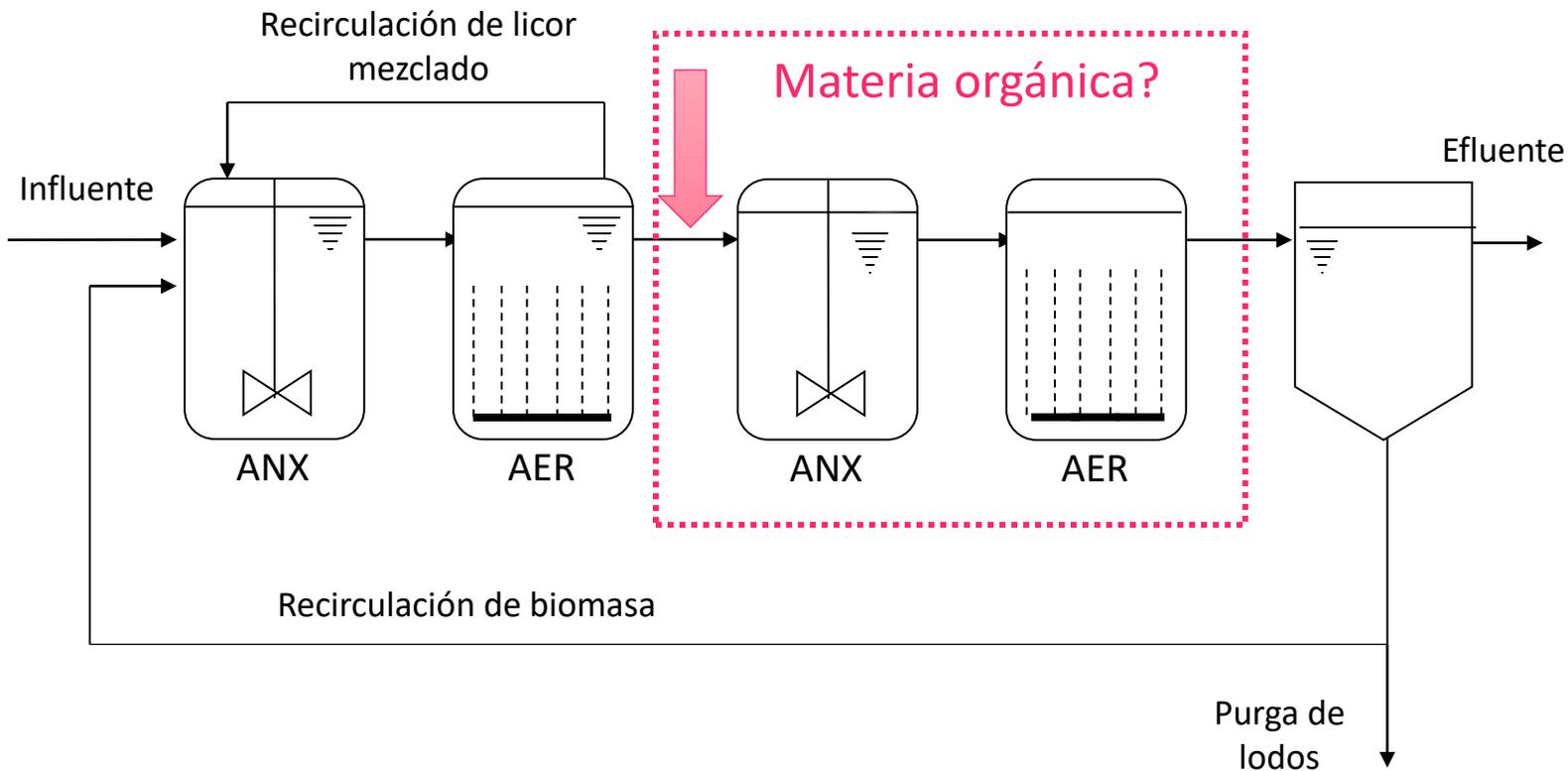
- Buen control de la alcalinidad
- Buenas propiedades de sedimentabilidad de la biomasa
- Requerimiento de oxígeno moderado
- Operación sencilla

### Desventajas

- No es posible la remoción completa de nitrógeno

# SISTEMAS DE REMOCIÓN DE N

## Proceso Bardenpho-4



### Ventajas

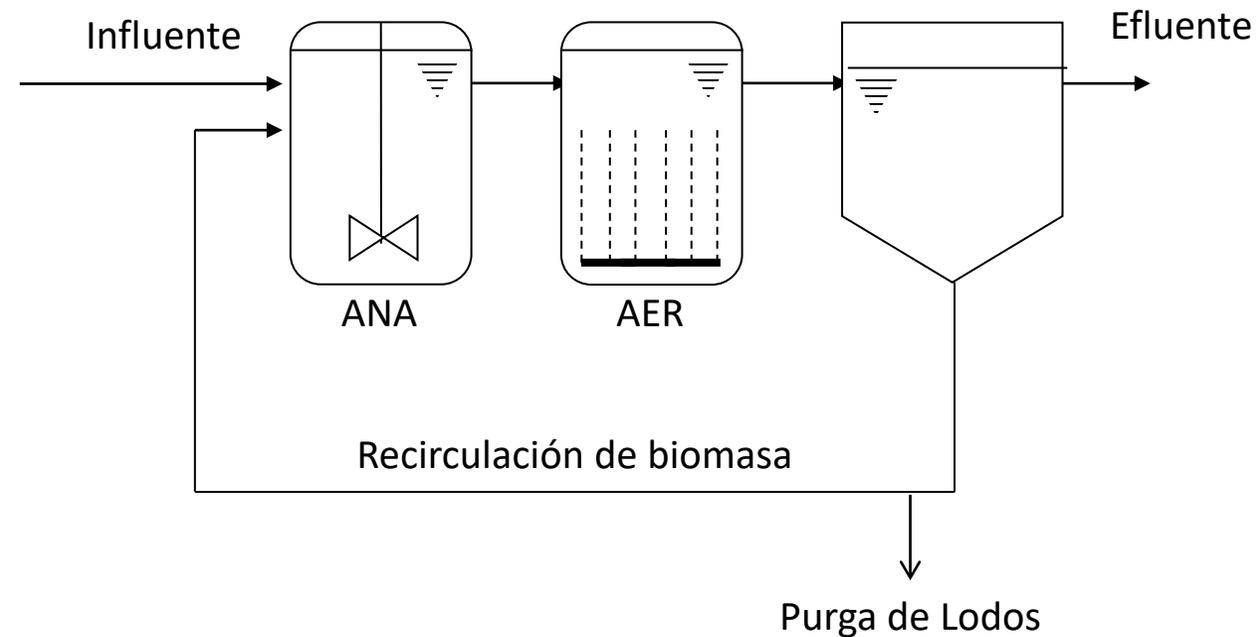
- Muy altas eficiencias de remoción de nitrógeno
- Buen control de la alcalinidad
- Buenas propiedades de sedimentabilidad de la biomasa
- Requerimiento de oxígeno moderado
- Operación sencilla

### Desventajas

- Alto costo de inversión (requerimiento de grandes volúmenes de reactor)

# SISTEMAS DE REMOCIÓN DE P

## Proceso ANA\_AER (A/O)



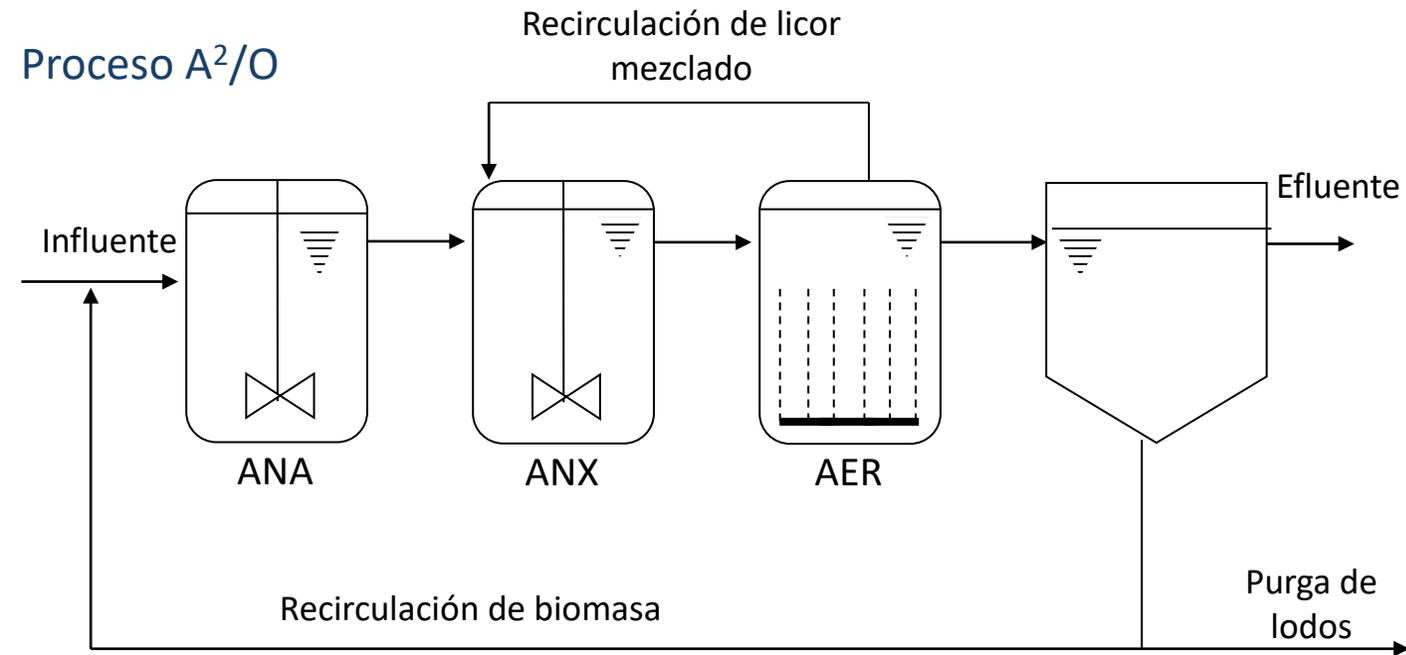
### Ventajas

- Buena remoción de fósforo
- Bajo requerimiento de volumen
- Buena sedimentación
- Operación sencilla

### Desventajas

- La remoción de fósforo se ve afectada si ocurre nitrificación

# SISTEMAS DE REMOCIÓN DE N y P



Combinación del proceso MLE y el A/O

–SRT anaerobio similar a A/O, SRT aerobio y anóxico similar a MLE

Eficiencias de remoción de nitrógeno similares a las obtenidas en el MLE

## Ventajas

- Requerimiento de volumen moderado
- Buena sedimentación
- Buen control de alcalinidad
- Operación sencilla

## Desventajas

- Tanto la remoción de fósforo como la de nitrógeno son moderadas

# SISTEMAS DE REMOCIÓN DE C, N y P

